

Docket No.: 50395-073

*#3
10 May 01
R. Tallent*
PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of :

Eisuke SASAOKA, et al. :

Serial No.: :

Group Art Unit:

Filed: January 03, 2001 :

Examiner:

For: RAMAN AMPLIFIER, OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM AND OPTICAL FIBER



**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:

Japanese Patent Application No. 2000-033733,
filed February 10, 2000

cited in the Declaration of the present application. A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

Arthur J. Steiner
Arthur J. Steiner

Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:klm
Date: January 3, 2001
Facsimile: (202) 756-8087

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

McDermott, Will & Emery

50395-075
JANUARY 3, 2001
SASAKI et al.

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 2月10日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-033733

出 願 人

Applicant (s):

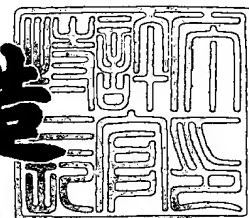
住友電気工業株式会社

1c912 U.S. PTO
09/752526
01/03/01

2000年 8月18日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2000-3066222

【書類名】 特許願

【整理番号】 100Y0025

【提出日】 平成12年 2月10日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/108

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 笹岡 英資

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 西村 正幸

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

 【氏名】 田中 茂

【特許出願人】

 【識別番号】 000002130

 【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100088155

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

 【識別番号】 100089978

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9908938

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ラマン増幅器、光伝送システムおよび光ファイバ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 信号光を伝送するとともに、励起光が供給されることにより前記信号光をラマン増幅するラマン増幅用光ファイバと、

波長が E_r 元素添加光ファイバ増幅器の増幅波長帯域内にある光を前記励起光として前記ラマン増幅用光ファイバに供給する励起光供給手段と、

を備えることを特徴とするラマン増幅器。

【請求項 2】 前記励起光供給手段は、 E_r 元素添加光ファイバ増幅器を有し、この E_r 元素添加光ファイバ増幅器により前記励起光を光増幅し、この光増幅した前記励起光を前記ラマン増幅用光ファイバに供給することを特徴とする請求項 1 記載のラマン増幅器。

【請求項 3】 請求項 1 記載のラマン増幅器が中継区間に設けられ、前記中継区間の光伝送路の少なくとも一部に前記ラマン増幅器のラマン増幅用光ファイバが用いられることを特徴とする光伝送システム。

【請求項 4】 信号光波長における波長分散および波長分散スロープの何れかが前記ラマン増幅用光ファイバと異なる符号である分散補償光ファイバが前記中継区間の光伝送路上に設けられていることを特徴とする請求項 3 記載の光伝送システム。

【請求項 5】 波長 $1.65 \mu m$ における波長分散の絶対値が $0.1 \sim 10 ps/nm/km$ の範囲にあることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 6】 波長 $1.55 \mu m$ における実効断面積が波長 $1.65 \mu m$ における実効断面積の 85% 以下であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 7】 請求項 5 または 6 に記載の光ファイバを前記ラマン増幅用光ファイバとして用いることを特徴とする請求項 1 記載のラマン増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、信号光を伝送するとともにラマン増幅するラマン増幅器、このラマ

ン増幅器が中継区間に設けられた光伝送システム、および、このラマン増幅器のラマン増幅用光ファイバとして用いられる光ファイバに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光ファイバ増幅器は、光伝送システムにおいて信号光が光伝送路を伝搬する際の損失を補償すべく信号光を光増幅するものであり、光増幅用光ファイバおよび励起光供給手段を備えている。すなわち、励起光供給手段により光増幅用光ファイバに所定波長の励起光が供給され、この光増幅用光ファイバに信号光が入力すると、この入力した信号光は、光増幅用光ファイバにおいて光増幅されて出力される。

【0003】

このような光ファイバ増幅器として、希土類元素（例えばEr元素）が光導波領域に添加された光ファイバを光増幅用光ファイバとして用いる希土類元素添加光ファイバ増幅器と、ラマン増幅現象を利用するラマン増幅器とがある。希土類元素添加光ファイバ増幅器は、モジュール化されて中継器等に設けられる。これに対して、ラマン増幅器は、信号光を伝搬させる光伝送路またはその一部に光増幅用光ファイバ（ラマン増幅用光ファイバ）が用いられ、このラマン増幅用光ファイバにおいて該信号光を光増幅する。したがって、ラマン増幅器を利用すれば、光伝送路の実効的損失の低減を図ることができるだけでなく、光伝送路の各所における信号光のパワーが大きくなりすぎることによる非線形光学現象の発生を抑制することができる。

【0004】

このラマン増幅器については、例えば、文献1「J.-P. Blondel, et al., "Error-Free 32x10 Gbit/s Unrepeatered Transmission Over 450 km", ECOC'99, PD2-6 (1999)」、文献2「T. N. Nilsson, et al., 1.6 Tb/s (40x40 Gb/s) Transmission Over 4x100 km Nonzero-Dispersion Fiber Using Hybrid Raman/Erbium-Doped Inline Amplifiers", ECOC'99, PD2-2 (1999)」、および、特開平10-294510号公報などに記載されている。

【0005】

文献1に記載されたラマン増幅器は、光伝送路である純石英コア光ファイバに波長 $1.48\mu\text{m}$ の励起光を導入して、この純石英コア光ファイバを伝搬する波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の信号光をラマン増幅するものである。文献2に記載されたラマン増幅器は、光伝送路である分散シフト光ファイバに波長 $1.45\mu\text{m}$ の励起光を導入して、この分散シフト光ファイバを伝搬する波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の信号光をラマン増幅するものである。また、特開平10-294510号公報に記載されたラマン増幅器は、伝送路用光ファイバに波長 $1.51\mu\text{m}$ の励起光を導入して、この伝送路用光ファイバを伝搬する波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の信号光をラマン増幅するものである。さらに、上記文献2および上記公報には、ラマン増幅器を用いるとともに、Er元素が光導波領域に添加された光ファイバを光増幅媒体とする光ファイバ増幅器(EDFA: Erbium-Doped Fiber Amplifier)をも用いた光伝送システムが記載されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

ラマン増幅器においては、ラマン増幅用光ファイバをできるだけ長くするとともに、このラマン増幅用光ファイバにおける信号光のラマン増幅利得を大きくすることが重要である。その為には、光伝送路でもあるラマン増幅用光ファイバに導入する励起光のパワーを大きくし、或いは、励起光波長でのラマン増幅用光ファイバの伝送損失を小さくすることが必要である。しかし、従来の技術では、ラマン増幅用光ファイバがシリカガラス系のものであって、伝送損失が最小となる波長が $1.55\mu\text{m}$ 付近であるから、信号光波長($1.55\mu\text{m}$ 帯)での損失より励起光波長($1.45\mu\text{m}\sim 1.51\mu\text{m}$)での損失の方が大きい。励起光源として一般に用いられる半導体レーザ光源から出力されるレーザ光(励起光)のパワーに限界があり、また、上記励起光波長の光を光増幅し得る光増幅器が未だ実用化されていないので、ラマン増幅用光ファイバに導入する励起光のパワーを大きくするにも限界がある。したがって、ラマン増幅器におけるラマン増幅利得を大きくするにも限界がある。

【0007】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、ラマン増幅利得が

大きいラマン増幅器、このラマン増幅器が中継区間に設けられた光伝送システム、および、このラマン増幅器のラマン増幅用光ファイバとして用いられる光ファイバを提供することを目的とする。

【 0 0 0 8 】

【課題を解決するための手段】

本発明に係るラマン増幅器は、(1) 信号光を伝送するとともに、励起光が供給されることにより前記信号光をラマン増幅するラマン増幅用光ファイバと、(2) 波長がE r 元素添加光ファイバ増幅器 (E D F A) の増幅波長帯域内にある光を励起光として供給する励起光供給手段と、を備えることを特徴とする。このラマン増幅器によれば、励起光供給手段によりラマン増幅用の励起光がラマン増幅用光ファイバに供給される。そして、ラマン増幅用光ファイバに入力した信号光は、ラマン増幅用光ファイバを伝搬する際に伝送損失を被る一方で、ラマン増幅用光ファイバによりラマン増幅されて、ラマン増幅用光ファイバより出力される。本発明では、ラマン増幅用の励起光の波長を、ラマン増幅用光ファイバ (シリカガラス系の光ファイバ) において伝送損失が最小となる波長、すなわち、E D F A の増幅波長帯域内にある波長とする。具体的にはラマン増幅用の励起光の波長をCバンド (1 5 3 0 n m ~ 1 5 6 5 n m) またはLバンド (1 5 7 0 n m ~ 1 6 0 5 n m) とする。そして、信号光の波長を、この励起光によりラマン増幅することが可能な波長帯域である波長 1 . 6 5 μ m 帯とする。このようにすることで、ラマン増幅用の励起光がラマン増幅用光ファイバを低損失で伝搬することができるので、ラマン増幅器におけるラマン増幅利得を大きくすることができる。

【 0 0 0 9 】

また、本発明に係るラマン増幅器では、励起光供給手段は、E D F A を有し、このE D F A により励起光を光増幅し、この光増幅した励起光をラマン増幅用光ファイバに供給することを特徴とする。この場合には、ラマン増幅用の励起光はE D F A により光増幅された後にラマン増幅用光ファイバに供給されるので、ラマン増幅用光ファイバには高パワーのラマン増幅用の励起光が伝搬する。したがって、ラマン増幅利得を更に大きくすることができる。

【 0 0 1 0 】

本発明に係る光伝送システムは、上記のラマン増幅器が中継区間に設けられ、中継区間の光伝送路の少なくとも一部にラマン増幅器のラマン増幅用光ファイバが用いられることを特徴とする。この光伝送システムによれば、光伝送路の各所における信号光のパワーが大きくなりすぎることによる非線形光学現象の発生を抑制した上で、受信端に到達する信号光のパワーを十分なものとすることができ、伝送特性が優れたものとなる。特に、この光伝送システムは、上記の本発明に係るラマン増幅器が中継区間に設けられているので、ラマン増幅器における信号光のラマン増幅利得が大きく、長距離の光伝送を行うことができる。

【0011】

また、本発明に係る光伝送システムでは、信号光波長における波長分散および波長分散スロープの何れかがラマン増幅用光ファイバと異なる符号である分散補償光ファイバが中継区間の光伝送路上に設けられていることを特徴とする。この場合には、光伝送路の累積波長分散を広い信号光波長帯域で小さくすることができ、累積波長分散に因る信号光の波形劣化を広帯域で抑制することができるので、高速・長距離の波長多重伝送を行うのに好適である。

【0012】

本発明に係る光ファイバは、波長 $1.65\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $0.1\sim 10\text{ps/nm/km}$ の範囲にあることを特徴とする。この光ファイバを上記のラマン増幅用光ファイバとして用いることで、累積波長分散に因る信号光の波形劣化を抑制することができ、また、波長多重伝送の際の非線形光学現象に因るチャンネル間の相互作用を抑制することができるので、伝送特性は優れたものとなる。

【0013】

本発明に係る光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積が波長 $1.65\mu\text{m}$ における実効断面積の85%以下であることを特徴とする。この光ファイバを上記のラマン増幅用光ファイバとして用いることで、励起光波長においてはラマン増幅用光ファイバの非線形性が大きいことからラマン増幅利得が大きくなり、信号光波長においてはラマン増幅用光ファイバの非線形性が小さいことから非線形光学現象に因る信号光の伝送特性劣化を抑制することができる。

【 0 0 1 4 】

また、本発明に係るラマン増幅器は、上記の光ファイバをラマン増幅用光ファイバとして用いることを特徴とする。この場合には、ラマン増幅利得が大きくなり、累積波長分散に因る信号光の波形劣化を抑制することができ、また、波長多重伝送の際の非線形光学現象に因るチャンネル間の相互作用を抑制することができるので、伝送特性は優れたものとなる。

【 0 0 1 5 】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。尚、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【 0 0 1 6 】

(第 1 の実施形態)

先ず、本発明の第 1 の実施形態について説明する。図 1 は、第 1 の実施形態に係るラマン増幅器および光伝送システムの概略構成図である。本実施形態に係る光伝送システム 1 は、送信器（または中継器）10 と受信器（または中継器）20 との間に順にラマン増幅用光ファイバ 31 および光合波器 41 が設けられており、また、光合波器 41 と接続されたラマン増幅用励起光源 51 を備えている。

【 0 0 1 7 】

ラマン増幅用光ファイバ 31 は、長さが例えば数 km ～数十 km であって、光伝送システム 1 において信号光を伝送する光伝送路でもあり、ラマン増幅用の励起光が供給されることにより信号光をラマン増幅する光増幅媒体でもある。このラマン増幅用光ファイバ 31 は、信号光波長帯域において単一モードであり、シリカガラス系のものである。

【 0 0 1 8 】

ラマン増幅用励起光源 51 は、ラマン増幅用の励起光を出力するものであり、例えば半導体レーザ光源が好適に用いられる。光合波器 41 は、ラマン増幅用励起光源 51 から出力された励起光をラマン増幅用光ファイバ 31 へ導入するとともに、ラマン増幅用光ファイバ 31 でラマン増幅された信号光を受信器 20 へ向けて通過させる。なお、ラマン増幅用の励起光の波長は、信号光の波長より 0.

1 μ m程度短い。

【0019】

ラマン増幅用光ファイバ31、光合波器41およびラマン増幅用励起光源51は、ラマン増幅器を構成している。このラマン増幅器が送信器10と受信器20との間の中継区間に設けられており、この中継区間の光伝送路の少なくとも一部にラマン増幅用光ファイバ31が用いられている。

【0020】

この光伝送システム1では、ラマン増幅用励起光源51から出力されたラマン増幅用の励起光は、光合波器41を経てラマン増幅用光ファイバ31に供給される。送信器10から送出された信号光は、ラマン増幅用光ファイバ31に入射して、ラマン増幅用光ファイバ31を伝搬する際に伝送損失を被る一方でラマン増幅される。そして、このラマン増幅用光ファイバ31によりラマン増幅された信号光は、光合波器41を経て受信器20に到達し、受信器20により受信される。

【0021】

本実施形態では、ラマン増幅用励起光源51から出力されるラマン増幅用の励起光の波長を、ラマン増幅用光ファイバにおいて伝送損失が最小となる波長、すなわち、EDFAの増幅波長帯域内にある波長とする。具体的にはラマン増幅用の励起光の波長をCバンド(1530nm~1565nm)またはLバンド(1570nm~1605nm)とする。そして、送信器10から受信器20へ向けて送信する信号光の波長を、この励起光によりラマン増幅することが可能な波長帯域である波長1.65 μ m帯とする。

【0022】

このようにすることで、CバンドまたはLバンドの励起光がラマン増幅用光ファイバ31を低損失で伝搬することができるので、ラマン増幅器(ラマン増幅用光ファイバ31、光合波器41およびラマン増幅用励起光源51を含んで構成される)におけるラマン増幅利得を大きくすることができる。なお、波長1.65 μ m帯の信号光については、波長1.55 μ m帯とした場合と比較すればラマン増幅用光ファイバ31での伝送損失が大きい、ラマン増幅利得が大きいので、

実効的損失（＝伝送損失－ラマン増幅利得）を小さくすることができる。したがって、この光伝送システム 1 では、光伝送路の各所における信号光のパワーが大きくなりすぎることによる非線形光学現象の発生を抑制した上で、受信局 2 0 に到達する信号光のパワーを十分なものとすることができ、伝送特性が優れたものとなる。

【 0 0 2 3 】

また、ラマン増幅用光ファイバ 3 1 は、波長 $1.65\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $0.1\sim 10\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ の範囲にあるのが好適である。このように、波長 $1.65\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値を $10\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下とすることで、累積波長分散による信号光の波形劣化を抑制することができる。また、波長 $1.65\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値を $0.1\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上とすることで、波長多重伝送の際の非線形光学現象によるチャンネル間の相互作用を抑制することができる。したがって、伝送特性は更に優れたものとなる。

【 0 0 2 4 】

また、ラマン増幅用光ファイバ 3 1 は、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積が波長 $1.65\mu\text{m}$ における実効断面積の 85% 以下であるのが好適である。このようにすることで、励起光波長においてはラマン増幅用光ファイバ 3 1 の非線形性が大きいことからラマン増幅利得が大きくなり、信号光波長においてはラマン増幅用光ファイバ 3 1 の非線形性が小さいことから非線形光学現象による信号光の伝送特性劣化を抑制することができる。

【 0 0 2 5 】

(第 2 の実施形態)

次に、本発明の第 2 の実施形態について説明する。図 2 は、第 2 の実施形態に係るラマン増幅器および光伝送システムの概略構成図である。本実施形態に係る光伝送システム 2 は、第 1 の実施形態に係る光伝送システム 1 に加えて EDFA 6 1 を備えるものである。また、本実施形態では、ラマン増幅用光ファイバ 3 1、光合波器 4 1、ラマン増幅用励起光源 5 1 および EDFA 6 1 がラマン増幅器を構成している。

【 0 0 2 6 】

EDFA61は、Er元素が光導波領域に添加された光増幅用光ファイバ612を光増幅媒体とする光ファイバ増幅器であり、ラマン増幅用励起光源51から出力されたラマン増幅用のCバンドまたはLバンドの励起光を光増幅し、この光増幅した励起光を光合波器41へ向けて出力する。EDFA61は、入力端から出力端へ順に光アイソレータ611、光増幅用光ファイバ612、光合波器613および光アイソレータ613を備え、また、光合波器613と接続された励起光源615を備えている。

【0027】

光増幅用光ファイバ612は、Er元素が光導波領域に添加されたシリカガラス系の光ファイバであり、励起光源615から出力された励起光（波長 $1.48\mu\text{m}$ または $0.98\mu\text{m}$ ）が供給されることにより、ラマン増幅用励起光源51から出力されたラマン増幅用の励起光（CバンドまたはLバンド）を光増幅する。光アイソレータ611、612それぞれは、ラマン増幅用励起光源51から出力されたラマン増幅用の励起光を順方向に通過させるが、逆方向に進む光を遮断する。励起光源615は、光増幅用光ファイバ612に添加されたEr元素を励起する為の励起光を出力するものであり、例えば半導体レーザ光源が好適に用いられる。光合波器613は、励起光源615から出力された励起光を光増幅用光ファイバ612へ導入するとともに、光増幅用光ファイバ612で光増幅されたラマン増幅用の励起光を光アイソレータ614へ向けて通過させる。

【0028】

この光伝送システム2では、ラマン増幅用励起光源51から出力されたラマン増幅用の励起光は、EDFA61により光増幅され、光合波器41を経てラマン増幅用光ファイバ31に供給される。送信器10から送出された信号光は、ラマン増幅用光ファイバ31に入射して、ラマン増幅用光ファイバ31を伝搬する際に伝送損失を被る一方でラマン増幅される。そして、このラマン増幅用光ファイバ31によりラマン増幅された信号光は、光合波器41を経て受信器20に到達し、受信器20により受信される。

【0029】

本実施形態に係る光伝送システム2は、第1の実施形態に係る光伝送システム

1 が奏する効果に加えて、以下のような効果をも奏する。すなわち、本実施形態では、ラマン増幅用励起光源 51 から出力されたラマン増幅用の励起光は EDFA 61 により光増幅された後にラマン増幅用光ファイバ 31 に供給されるので、ラマン増幅用光ファイバ 31 には高パワーのラマン増幅用の励起光が伝搬する。したがって、第 1 の実施形態の場合と比べて、本実施形態では、ラマン増幅利得を更に大きくすることができる。

【0030】

次に、本実施形態に係る光伝送システム 2 の具体的な実施例について説明する。本実施例では、送信器 10 から送出される信号光の波長は 1660 nm である。ラマン増幅用励起光源 51 から出力されるラマン増幅用の励起光の波長は 1550 nm であり、この励起光は EDFA 61 によりパワー 5 W まで光増幅される。ラマン増幅用光ファイバ 31 は、信号光波長 1660 nm において、波長分散が 2.5 ps/nm/km であり、分散スロープが $0.07\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ であり、伝送損失が 0.22 dB/km であり、実効断面積が $57\text{ }\mu\text{m}^2$ である。また、ラマン増幅用光ファイバ 31 は、ラマン増幅用励起光波長 1550 nm において、伝送損失が 0.20 dB/km であり、実効断面積が $44\text{ }\mu\text{m}^2$ である。

【0031】

このように、EDFA 61 によりパワー 5 W まで光増幅されたラマン増幅用の励起光がラマン増幅用光ファイバ 31 に供給され、しかも、ラマン増幅用励起光波長 1550 nm におけるラマン増幅用光ファイバ 31 の伝送損失が小さいので、ラマン増幅利得が従来以上に大きくなる。また、ラマン増幅用光ファイバ 31 の実効断面積は、信号光波長 1660 nm においては大きく、ラマン増幅用励起光波長 1550 nm においては小さい（信号光波長 1660 nm の場合の 85% 以下である）ので、非線形光学現象に因る信号光の伝送特性劣化を抑制しつつ、ラマン増幅利得を大きくすることができる。さらに、信号光波長 1660 nm においてラマン増幅用光ファイバ 31 の波長分散の絶対値が小さいので、累積波長分散に因る信号光の波形劣化を抑制することができる。

【0032】

(第3の実施形態)

次に、本発明の第3の実施形態について説明する。図3は、第3の実施形態に係るラマン増幅器および光伝送システムの概略構成図である。本実施形態に係る光伝送システム3は、送信器（または中継器）10と受信器（または中継器）20との間に順に、ラマン増幅用光ファイバ31、分散補償光ファイバ71、光合波器41、ラマン増幅用光ファイバ32、分散補償光ファイバ72および光合波器42が設けられている。また、光合波器41にラマン増幅用励起光源51が接続され、光合波器42にラマン増幅用励起光源52が接続されている。

【0033】

ラマン増幅用光ファイバ31、32それぞれは、長さが例えば数km～数十kmであって、光伝送システム3において信号光を伝送する光伝送路でもあり、ラマン増幅用の励起光が供給されることにより信号光をラマン増幅する光増幅媒体でもある。これらラマン増幅用光ファイバ31、32それぞれは、信号光波長帯域において単一モードであり、シリカガラス系のものである。

【0034】

分散補償光ファイバ71、72それぞれは、信号光波長における波長分散および分散スロープの何れかがラマン増幅用光ファイバ31、32と異なる符号を有しており、ラマン増幅用光ファイバ31、32の波長分散または分散スロープを補償する。分散補償光ファイバ71、72それぞれは、コイル状に巻かれてモジュール化されていてもよいし、ラマン増幅用光ファイバ31、32とともに敷設されていてもよい。分散補償光ファイバ71とラマン増幅用光ファイバ31とは、光コネクタにより接続されていてもよいが、接続損失を小さくする上では融着接続されているのが好適である。同様に、分散補償光ファイバ72とラマン増幅用光ファイバ32とは、光コネクタにより接続されていてもよいが、接続損失を小さくする上では融着接続されているのが好適である。なお、これら分散補償光ファイバ71、72でも信号光はラマン増幅され得る。

【0035】

ラマン増幅用励起光源51、52それぞれは、ラマン増幅用の励起光を出力するものであり、例えば半導体レーザ光源が好適に用いられる。光合波器41は、

ラマン増幅用励起光源 5 1 から出力され E D F A 6 1 により光増幅された励起光を分散補償光ファイバ 7 1 およびラマン増幅用光ファイバ 3 1 へ導入するとともに、これらでラマン増幅された信号光を下流へ通過させる。同様に、光合波器 4 2 は、ラマン増幅用励起光源 5 2 から出力され E D F A 6 2 により光増幅された励起光を分散補償光ファイバ 7 2 およびラマン増幅用光ファイバ 3 2 へ導入するとともに、これらでラマン増幅された信号光を受信器 2 0 へ向けて通過させる。

【0036】

E D F A 6 1, 6 2 それぞれは、E r 元素が光導波領域に添加された光増幅用光ファイバを光増幅媒体とする光ファイバ増幅器である。E D F A 6 1 は、ラマン増幅用励起光源 5 1 から出力されたラマン増幅用の C バンドまたは L バンドの励起光を光増幅し、この光増幅した励起光を光合波器 4 1 へ向けて出力する。同様に、E D F A 6 2 は、ラマン増幅用励起光源 5 2 から出力されたラマン増幅用の C バンドまたは L バンドの励起光を光増幅し、この光増幅した励起光を光合波器 4 2 へ向けて出力する。E D F A 6 1, 6 2 それぞれの構成は、図 2 中に示したものと同様である。

【0037】

この光伝送システム 3 では、ラマン増幅用励起光源 5 1 から出力されたラマン増幅用の励起光は、E D F A 6 1 により光増幅され、光合波器 4 1 を経て分散補償光ファイバ 7 1 およびラマン増幅用光ファイバ 3 1 に供給される。同様に、ラマン増幅用励起光源 5 2 から出力されたラマン増幅用の励起光は、E D F A 6 2 により光増幅され、光合波器 4 2 を経て分散補償光ファイバ 7 2 およびラマン増幅用光ファイバ 3 2 に供給される。送信器 1 0 から送出された信号光は、ラマン増幅用光ファイバ 3 1、分散補償光ファイバ 7 1、光合波器 4 1、ラマン増幅用光ファイバ 3 2、分散補償光ファイバ 7 2 および光合波器 4 2 を順に経て、受信器 2 0 に到達して受信される。この信号光は、ラマン増幅用光ファイバ 3 1, 3 2 それぞれを伝搬する際に伝送損失を被る一方でラマン増幅される。また、信号光は、分散補償光ファイバ 7 1, 7 2 それぞれを伝搬する際にも伝送損失を被る一方でラマン増幅され得る。

【0038】

本実施形態に係る光伝送システム2は、第1の実施形態に係る光伝送システム1が奏する効果に加えて、以下のような効果をも奏する。すなわち、本実施形態では、信号光波長における波長分散および波長分散スロープの何れかがラマン増幅用光ファイバ31、32と異なる符号である分散補償光ファイバ71、72が光伝送路上に設けられているので、送信器10から受信器20までの光伝送路の累積波長分散を広い信号光波長帯域で小さくすることができる。したがって、累積波長分散に因る信号光の波形劣化を広帯域で抑制することができるので、高速・長距離の波長多重伝送を行うのに好適である。

【0039】

次に、本実施形態に係る光伝送システム3の具体的な実施例について説明する。本実施例では、送信器10から送出される信号光の波長は1648nm、1649nm、1650nmおよび1651nmであり、これら4波の信号光が波長多重されて送信器10より送出され、受信器20では各波長の信号光が分波されて受信される。ラマン増幅用励起光源51から出力されるラマン増幅用の励起光の波長は1545nmであり、この励起光はEDFA61によりパワー5Wまで光増幅される。同様に、ラマン増幅用励起光源52から出力されるラマン増幅用の励起光の波長も1545nmであり、この励起光はEDFA62によりパワー5Wまで光増幅される。

【0040】

ラマン増幅用光ファイバ31、32それぞれは、信号光波長1650nmにおいて、波長分散が 8.3 ps/nm/km であり、分散スロープが $0.06 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ であり、伝送損失が 0.21 dB/km である。また、ラマン増幅用光ファイバ31、32それぞれは、ラマン増幅用励起光波長1545nmにおいて伝送損失が 0.20 dB/km である。一方、分散補償光ファイバ71、72それぞれは、信号光波長1650nmにおいて、波長分散が -41.8 ps/nm/km であり、分散スロープが $-0.31 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ であり、伝送損失が 0.35 dB/km である。また、分散補償光ファイバ71、72それぞれは、ラマン増幅用励起光波長1545nmにおいて伝送損失が 0.33 dB/km である。

【0041】

このように、EDFA 61, 62によりパワー5Wまで光増幅されたラマン増幅用の励起光がラマン増幅用光ファイバ31, 32および分散補償光ファイバ71, 72に供給され、しかも、ラマン増幅用励起光波長1545nmにおけるラマン増幅用光ファイバ31, 32の伝送損失が小さいので、ラマン増幅利得が従来以上に大きくなる。また、信号光波長において、ラマン増幅用光ファイバ31, 32の波長分散は分散補償光ファイバ71, 72の波長分散と逆符号であり、ラマン増幅用光ファイバ31, 32の分散スロープは分散補償光ファイバ71, 72の分散スロープと逆符号であるので、ラマン増幅用光ファイバ31, 32の波長分散および分散スロープは分散補償光ファイバ71, 72により補償され、送信器10から受信器20までの光伝送路の累積波長分散を広い信号光波長帯域で小さくすることができ、累積波長分散に因る信号光の波形劣化を広帯域で抑制することができるので、高速・長距離の波長多重伝送を行うのに好適である。

【0042】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明に係るラマン増幅器は、ラマン増幅用の励起光の波長を、ラマン増幅用光ファイバにおいて伝送損失が最小となる波長、すなわち、EDFAの増幅波長帯域内にある波長とする。具体的にはラマン増幅用の励起光の波長をCバンド(1530nm~1565nm)またはLバンド(1570nm~1605nm)とする。そして、信号光の波長を、この励起光によりラマン増幅することが可能な波長帯域である波長1.65 μ m帯とする。このようにすることで、ラマン増幅用の励起光がラマン増幅用光ファイバを低損失で伝搬することができるので、ラマン増幅器におけるラマン増幅利得を大きくすることができる。また、EDFAにより光増幅した励起光をラマン増幅用光ファイバに供給する場合には、ラマン増幅用光ファイバには高パワーのラマン増幅用の励起光が伝搬するので、ラマン増幅利得を更に大きくすることができる。

【0043】

本発明に係る光伝送システムは、上記のラマン増幅器が中継区間に設けられ、中継区間の光伝送路の少なくとも一部にラマン増幅器のラマン増幅用光ファイバ

が用いられるものである。この光伝送システムによれば、光伝送路の各所における信号光のパワーが大きくなりすぎることに因る非線形光学現象の発生を抑制した上で、受信端に到達する信号光のパワーを十分なものとすることができ、伝送特性が優れたものとなる。特に、この光伝送システムは、上記の本発明に係るラマン増幅器が中継区間に設けられているので、ラマン増幅器における信号光のラマン増幅利得が大きく、長距離の光伝送を行うことができる。また、信号光波長における波長分散および波長分散スロープの何れかがラマン増幅用光ファイバと異なる符号である分散補償光ファイバが中継区間の光伝送路上に設けられている場合には、光伝送路の累積波長分散を広い信号光波長帯域で小さくすることができ、累積波長分散に因る信号光の波形劣化を広帯域で抑制することができるので、高速・長距離の波長多重伝送を行うのに好適である。

【0044】

本発明に係る光ファイバは、波長 $1.65\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $0.1\sim 10\text{ps/nm/km}$ の範囲にある。この光ファイバを上記のラマン増幅用光ファイバとして用いることで、累積波長分散に因る信号光の波形劣化を抑制することができ、また、波長多重伝送の際の非線形光学現象に因るチャンネル間の相互作用を抑制することができるので、伝送特性は優れたものとなる。また、本発明に係る光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積が波長 $1.65\mu\text{m}$ における実効断面積の 85% 以下である。この光ファイバを上記のラマン増幅用光ファイバとして用いることで、励起光波長においてはラマン増幅用光ファイバの非線形性が大きいことからラマン増幅利得が大きくなり、信号光波長においてはラマン増幅用光ファイバの非線形性が小さいことから非線形光学現象に因る信号光の伝送特性劣化を抑制することができる。

【0045】

また、本発明に係るラマン増幅器は、上記の光ファイバをラマン増幅用光ファイバとして用いる。この場合には、ラマン増幅利得が大きくなり、累積波長分散に因る信号光の波形劣化を抑制することができ、また、波長多重伝送の際の非線形光学現象に因るチャンネル間の相互作用を抑制することができるので、伝送特性は優れたものとなる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

第 1 の実施形態に係るラマン増幅器および光伝送システムの概略構成図である

【図 2】

第 2 の実施形態に係るラマン増幅器および光伝送システムの概略構成図である

【図 3】

第 3 の実施形態に係るラマン増幅器および光伝送システムの概略構成図である

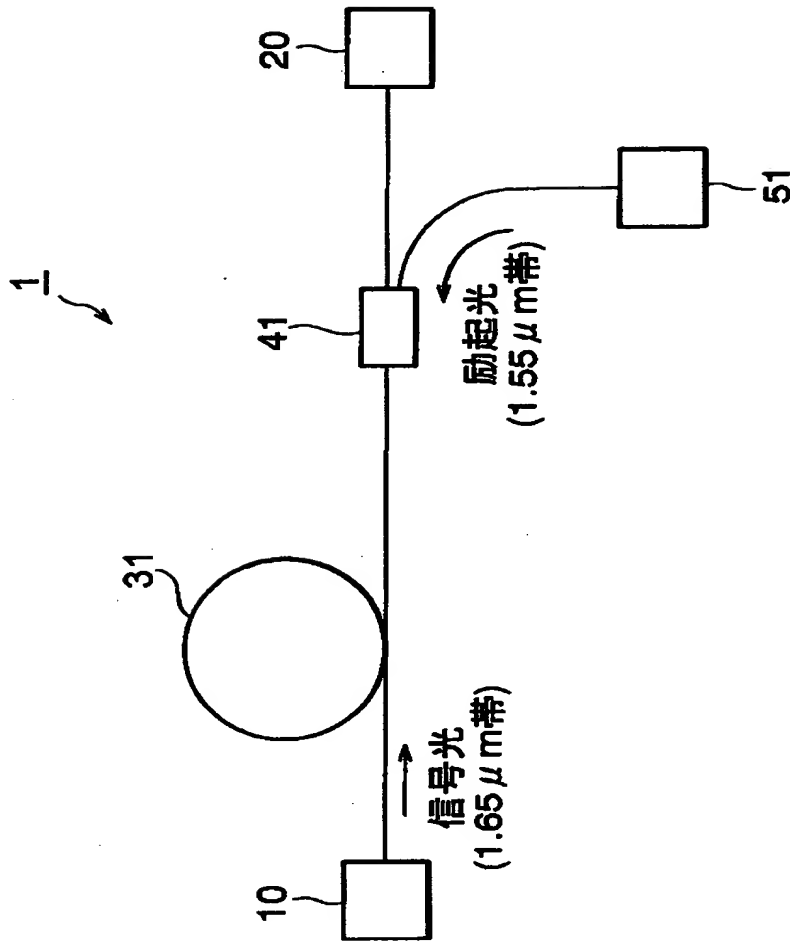
【符号の説明】

1～3…光伝送システム、10…送信器、20…受信器、31, 32…ラマン増幅用光ファイバ、41, 42…光合波器、51, 52…ラマン増幅用励起光源、61, 62…Er 元素添加光ファイバ増幅器 (EDFA)、71, 72…分散補償光ファイバ。

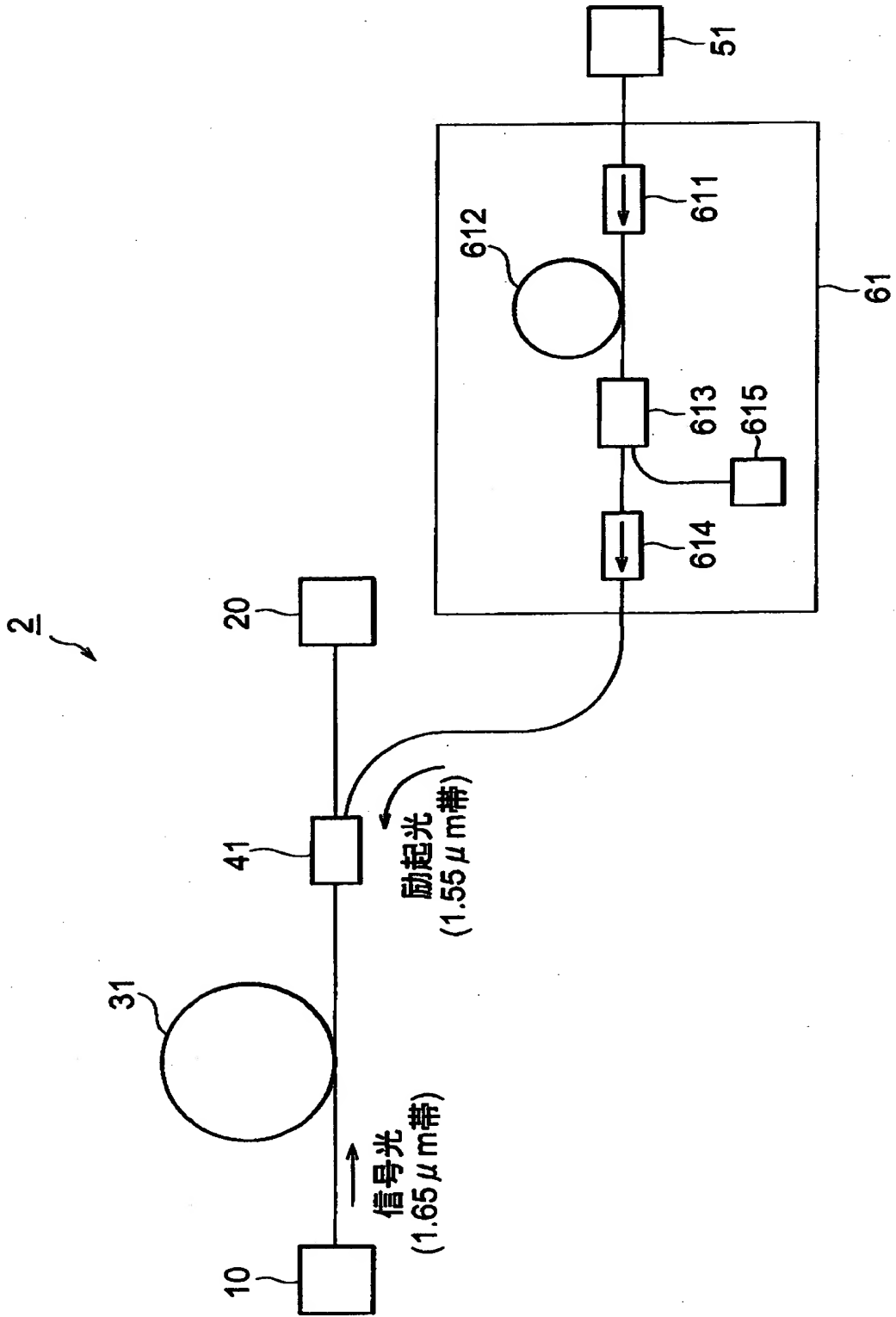
【書類名】

図面

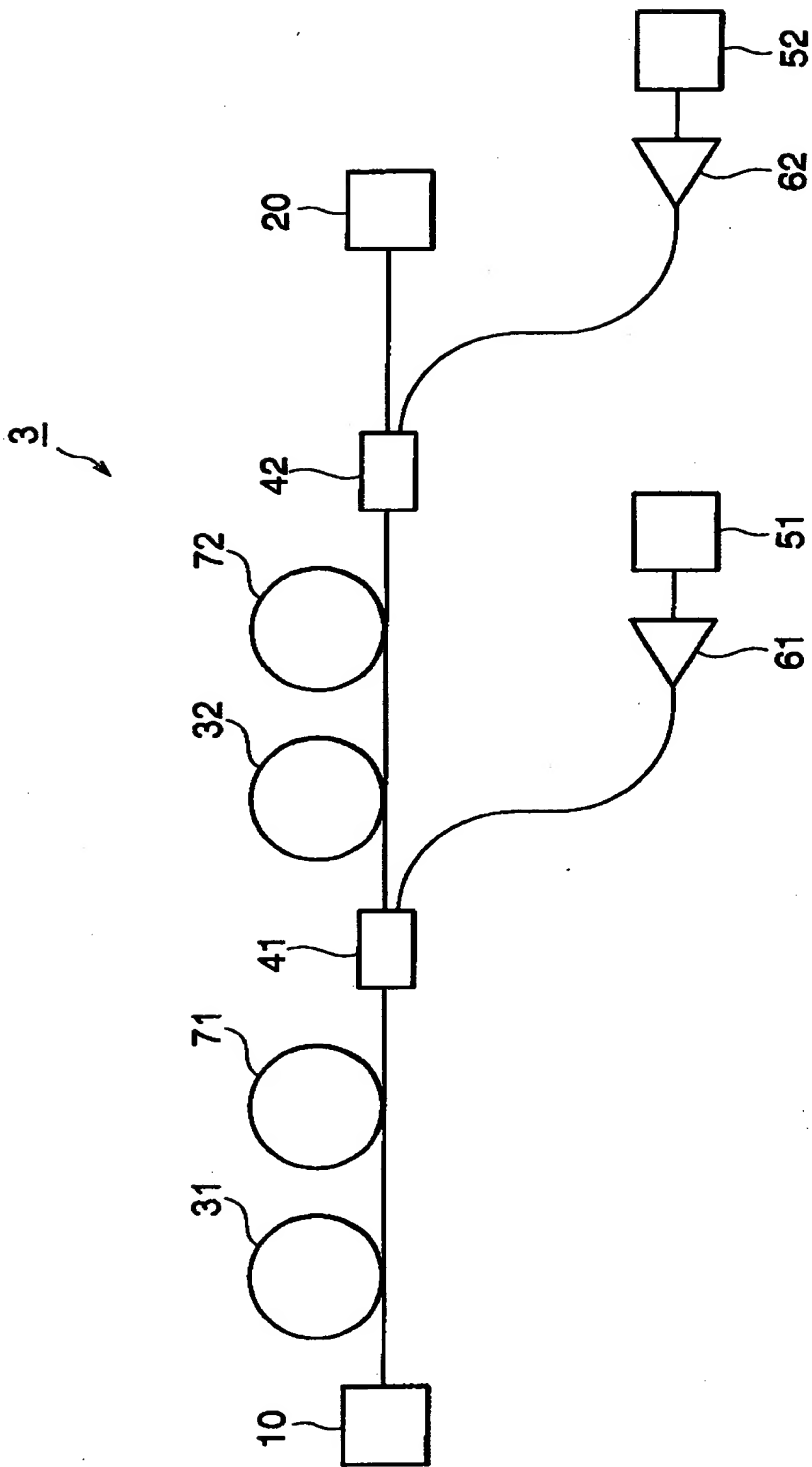
【図 1】



【図2】



【図3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ラマン増幅利得が大きいラマン増幅器等を提供する。

【解決手段】 光伝送システム 1 は、送信器 10 と受信器 20 との間に順にラマン増幅用光ファイバ 31 および光合波器 41 が設けられており、また、光合波器 41 と接続されたラマン増幅用励起光源 51 を備えている。ラマン増幅用励起光源 51 から出力されるラマン増幅用の励起光の波長を、シリカガラス系の光ファイバであるラマン増幅用光ファイバ 31 において伝送損失が最小となる C バンドまたは L バンドとする。送信器 10 から受信器 20 へ向けて送信する信号光の波長を、この励起光によりラマン増幅することが可能な波長帯域である波長 1.65 μm 帯とする。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

氏 名 住友電気工業株式会社